

УДК 630\*532

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПЛОЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ ХВОИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

И. В. ШЕВЕЛИНА – кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент кафедры лесной таксации и лесоустройства\*;  
e-mail: ishevelina@gmail.com

З. Я. НАГИМОВ – доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор, заведующий кафедрой лесной таксации и лесоустройства,  
директор института леса и природопользования\*

Е. Е. ТИМОФЕЕВА – магистрант\*

М. Р. КОЖЕВНИКОВ – магистрант\*

\*ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37,  
тел.: 8(343) 262-97-93

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, цифровой микроскоп, периметр поперечного сечения хвои, площадь поверхности хвои, переводной коэффициент.

Основные параметры хвои на поперечном срезе, необходимые для определения ее площади поверхности, можно корректно измерить при помощи цифрового микроскопа Levenhuk 870T с программным обеспечением LevenhukLite. Установлено, что средние значения ширины, толщины и периметра поперечного сечения хвоинки не соответствуют ее середине из-за веретенообразной формы. Наблюдается устойчивое увеличение периметра поперечного сечения хвоинки в направлении от ее базальной части к апикальной до отметки 3/4 длины. Поэтому для хвоинки следует находить средние значения параметров поперечного сечения (ширины, толщины и периметра). Наиболее обоснованным является нахождение их среднеарифметическим путем по данным, полученным на 1/4, 1/2 и 3/4 длины хвоинки. Изменчивость исследованных параметров хвои (длины, площади и периметра поперечного сечения, площади поверхности) даже у отдельно взятого дерева различна. Наименьшей изменчивостью характеризуется длина хвоинок (коэффициент вариации составляет 8,1 %), а наибольшей – площадь поперечного сечения (17,4–22,0 %). Основные параметры хвои (длина и средний периметр поперечного сечения), определяющие площадь ее поверхности, характеризуются низким уровнем изменчивости. Использование их для определения площади поверхности хвои обосновано и позволит получить корректные результаты. В целом морфологические параметры хвои характеризуются высокой степенью стабильности.

Ряд распределения количества хвоинок по величине площади поверхности имеет достоверно выраженную отрицательную асимметрию. Этот факт необходимо учитывать в дальнейшем при планировании экспериментов по оценке этого показателя. Эффективным направлением составления нормативов по оценке площади поверхности хвои является стыковка данных по этому показателю с применяемыми в регионе таблицами надземной фитомассы деревьев и древостоев. Эта задача может быть корректно решена на основе переводных коэффициентов, представляющих собой отношение массы хвои к ее поверхности. По результатам наших исследований переводной коэффициент для конверсии массы хвои в площадь ее поверхности составил 8,241 м<sup>2</sup>/кг.

## DEVELOPMENT OF A TECHNIQUE FOR ESTIMATING THE SURFACE AREA OF SCOTS PINE NEEDLES

I. V. SHEVELINA – PhD (Agriculture),  
associate professor of the same Department\*

Z. Ya. NAGIMOV – DSc (Agriculture), Professor,  
Head of Department of Forest Mensuration and Inventory,  
Director of the Institute of Forestry and Natural Resources\*

E. E. Timofeeva – master's student\*

M. R. Kozhevnikov – master's student\*

\*FSBEE HE «Ural State Forest engineering University»,  
620100, Russia, Yekaterinburg, Sibirian Tract, 37,  
phone: 8 (343) 262-97-93

**Keywords:** *scots pine, digital microscope, perimeter of the cross-section of needles, surface area of needles, conversion factor.*

The main parameters of the cross-section needles needed to determine their surface area can be correctly measured using the Levenhuk 870T digital micro-scope with the LevenhukLite software. It was found that the average values of the width, thickness and perimeter of the cross-section of the needles do not correspond to its middle because of the fusiform. There is a sustainable increase of the perimeter of cross-section needle in the direction from its basal part to the apical up to the mark of 3/4 length. Therefore, for needles, you should find the average values of the cross-section parameters (width, thickness, and perimeter). The most reasonable way is to determination means value based on data obtained for 1/4, 1/2 and 3/4 of the length of the needles.

The variability of the studied parameters of needles (length, area and perimeter of the cross-section, surface area) is different even for a single tree. The length needles is characterized he smallest variability (the coefficient of variation is 8,1 %), and the cross-sectional area is the largest (17,4–22,0 %). The main parameters of needles (length and average perimeter of the cross-section) that determine the area of its surface are characterized by a low level of variability. Using them to determine the surface area of needles is justified and will allow you to get correct results. In general, morphological parameters of needles are characterized by a high degree of stability.

A number of the distribution of the number of needles by the size of the surface area has a significantly pronounced negative asymmetry. This fact should be taken into account in the future when planning experiments to assess this indicator. An effective way of drawing up standards for assessing the surface area of needles is to link data on this indicator with tables of aboveground phytomass of trees and stands used in the region. This problem can be solved correctly on the basis of conversion coefficients representing the ratio of the mass of needles to its surface. According to the results of our research, the conversion factor for converting the mass of needles into the surface area was 8,241m<sup>2</sup>/kg.

### Введение

Площадь поверхности ассимиляционного аппарата – важнейший физиологический показатель растений. В настоящее время этот показатель широко применяется не только при оценке фотосинтеза, транспирации,

дыхания и других процессов жизнедеятельности растений. Площадь поверхности листа (хвои) и особенно производный от нее показатель – индекс листовой поверхности – признаются одними из важнейших показателей в лесоведении, метеорологии,

при математическом моделировании экосистем, экологическом прогнозировании, дистанционных исследованиях растительного покрова Земли [1].

В последние годы с увеличением масштабов техногенного загрязнения окружающей среды

существенно возрастает средо-защитное значение лесов. При оценке средозащитных функций леса весьма информативным показателем может выступить площадь поверхности ассимиляционного аппарата. Лесные насаждения вокруг городов выполняют роль фитофильтра на пути распространения промышленных и транспортных эмиссий в окружающую среду. А фитративная способность пологих насаждений, трансформация оседающих поллютантов во многом определяются поверхностью листовой (хвои).

Несмотря на важность и исключительную информативность площади поверхности ассимиляционного аппарата во многих областях науки, данных об этом показателе в специальной литературе совершенно недостаточно. Сдерживающим фактором широкого использования площади поверхности листовой (хвои) в научных исследованиях являются трудоемкость и отсутствие общепризнанных методов определения этого показателя [1–3].

#### Цель, задача, методика и объекты исследования

Целью данного исследования является разработка методики оценки площади поверхности хвои сосны обыкновенной, основанной на применении современных цифровых микроскопов.

Площадь поверхности хвои во многих эколого-физиологических исследованиях, как правило, определяется как произведение периметра ее поперечного сечения на длину. При этом измерение

длины хвои особых затруднений не вызывает. В то же время определение периметра ее поперечного сечения сопряжено с большими сложностями. Это связано с тем, что хвоинки голосеменных растений – это сложные стереометрические образования. Они, как правило, имеют 3–4 стороны, разнообразные формы, обусловленные экологическими и многими другими параметрами. В этой связи форма поперечного сечения хвои является главным фактором, определяющим площадь ее поверхности [1].

С учетом вышеизложенного многие исследователи периметр поперечного сечения хвоинок не измеряют, а определяют при помощи известных в специальной литературе формул с использованием показателей ширины и толщины хвои. В частности, при определении периметра поперечного сечения хвои сосны широко используется формула Тирена [1, 2]:

$$P_i = \pi/2 (1,137b + a), \quad (1)$$

где  $P$  – периметр поперечного сечения хвоинки;

$a$  – толщина хвоинки;

$b$  – ширина хвоинки.

При определении периметра поперечного сечения хвои по формулам ее ширина и толщина измеряются на поперечном срезе под микроскопом. Эти измерения при большом разнообразии формы поперечного сечения сопряжены с существенными трудностями и не гарантируют высокой точности.

В этой связи представляется более целесообразным непосред-

ственное определение периметра поперечного сечения хвои с использованием современных технических средств и технологий.

Объектом исследования является хвоя сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Она собрана с растущего в лесопарке им. Лесоводов России дерева, характеризующегося следующими таксационными показателями: возраст – 28 лет; диаметр на высоте груди – 27,8 см; высота – 12,2 м.

Объем экспериментального материала (навески) составил 100 хвоинок. Они были взвешены на лабораторных весах Vibra SJ-420CE с точностью до 0,001 г. Суммарная масса навески составила 3,697 г. После определения массы навески хвои устанавливался ее объем. Для этого использовался стеклянный мерный сосуд (ксиметр с постоянным уровнем), заполненный до определенного уровня дистиллированной водой. Объем навески хвои вычислялся как разница между объемом жидкости с хвоей и без нее. Объем 100 хвоинок в навеске оказался равным 4,0 мл.

После определения массы и объема исследуемых хвоинок у каждой из них линейкой измерялась длина  $l$  с точностью 0,5 мм. Для измерения толщины, ширины и периметра хвоинки при помощи лезвия были взяты поперечные срезы на следующих отметках: у основания хвоинки (нулевой отметке),  $1/4l$ ,  $1/2l$  и  $3/4l$  ( $l$  – длина хвоинки). Поперечные срезы помещались под тринокулярный цифровой микроскоп Levenhuk 870T (рисунок, а)

и производилось их фотографирование при 40-кратном увеличении (рисунок, б) [4].

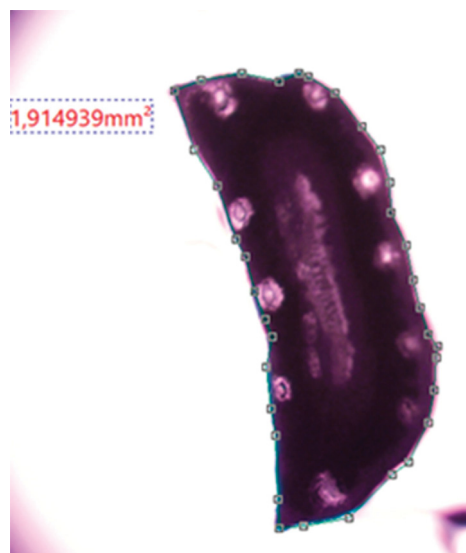
В комплекте с цифровым микроскопом поставляется программа LevenhukLite, которая

позволяет производить различные измерения по цифровому изображению, полученному с помощью микроскопа. С использованием этой программы для каждого из четырех поперечных

срезов хвоинки определялись площадь поперечного сечения  $S_i$  и периметр  $P_i$ . Для этой цели в программе LevenhukLite в меню имеется инструмент «Многоугольник».



а



б

Исследование поперечного среза хвои:

а – тринокулярный цифровой микроскоп Levenhuk 870T,

б – снимок поперечного среза хвоинки под микроскопом

Study of cross-section of needles:

а – Levenhuk 870T trinocular digital microscope, б – image of a cross-section of a needle under a microscope

После включения этого инструмента при помощи мыши последовательно обводится контур среза, в окне «Параметры» отобразятся значения  $S_i$  и  $P_i$  среза. По изложенной методике для всех 100 хвоинок навески были определены длина, а также периметр и площадь поперечного среза на указанных четырех отметках. Результаты этих измерений были сведены в специальную таблицу, фрагмент которой приведен ниже (табл.1).

#### Результаты исследования и их обсуждение

В эколого-физиологических исследованиях при определении площади поверхности хвои

Параметры хвоинок сосны для определения площади поверхности (фрагмент)

Parameters of needles for determining the surface area (fragment)

№ хвои № needle	Длина $l$ , мм Length $l$ , mm	Периметр поперечного сечения $P_i$ на отметках, мм Perimeter of the cross section $P_i$ at the marks, mm			
		0	1/4l	1/2l	3/4l
1	53	4,1544	4,58807	5,01915	5,56784
2	52,5	3,38023	4,40925	5,01807	5,23706
3	61	3,49343	5,38913	5,60123	6,01543
4	61,5	4,15633	4,82499	5,64241	5,76773
5	54	3,22015	4,72004	5,32939	5,46468
6	55,5	3,39548	5,05195	5,13399	5,92009
7	61,5	4,13432	5,01495	5,64855	5,91214
8	62,5	3,82692	4,64994	5,41604	5,29851
9	49	3,31928	3,52349	3,94093	4,58592
10	49	2,88327	3,6676	4,1786	4,26392
...					

Таблица 1

Table 1

наиболее широко применяется геометрический метод. Он основан на нахождении сходства отдельных хвоинок с некими телами вращения, объем и площадь поверхности которых определяются по стереометрическим формулам [1]. Таких стереометрических тел, сходных по форме с формой хвоинок, достаточно много, поэтому много и формул, предложенных для нахождения искомой величины. Как было отмечено выше, форма хвои в основном определяется ее поперечным сечением. Последний показатель уодной и той же породы может меняться в зависимости от условий роста (например освещенности) и таксационных показателей дерева. Поэтому при определении площади поверхности хвои не существует усредненного значения поперечного сечения хвои для всех деревьев в лесостоя.

Результаты наших исследований, а также других специалистов в этой области свидетельствуют, что средние (и максимальные) значения ширины и толщины хвоинки не соответствуют ее середине из-за веретенообразной формы. Поэтому для хвоинки следует находить средние значения показателей поперечного сечения (ширины, толщины и периметра). Изменение этих показателей по длине хвоинки можно учесть на основе обмеров нескольких поперечных сечений. В нашем случае для обмеров использованы четыре среза: у основания хвоинки (нулевой отметке), 1/4, 1/2 и 3/4 длины. Однако, на наш взгляд, более обоснованным

является использование для нахождения средних значений показателей поперечного сечения данных, полученных на середине хвоинки и при равном отступлении от серединки к основанию и верхушечной части. Поэтому для нахождения среднего значения периметра поперечного сечения нами использованы соответствующие данные, полученные на 1/4, 1/2 и 3/4 длины хвоинки. Умножением среднего значения периметра хвоинки на длину получена площадь ее поверхности  $F$ :

$$F = l \text{ SP}, \quad (2)$$

где SP – средний периметр хвоинки, мм.

Средние значения периметра поперечного сечения и площади поверхности хвои, рассчитанные по данным 100 хвоинок, представлены в табл. 2.

При разработке методов оценки различных показателей деревьев необходимо располагать сведениями об изменчивости и характере рассеяния их значений. Важным параметром, характеризующим изменчивость показателя, является величина амплитуды его значений. Анализ полученного массива данных (по 100 хвоинкам) позволяет отметить следующее. Длина хвоинок на конкретном дереве изменяется в достаточно узком диапазоне от 43 до 65 мм. Наблюдается явно выраженная изменчивость периметра поперечного сечения по длине хвоинки. Величина этого показателя у основания хвоинки колеблется от 2,883 до 4,993 мм, на 1/4 – от 3,524 до 5,691, на 1/2 – от

3,941 до 6,320 и на 3/4 – от 4,209 до 6,578. При таком положении вполне логичными являются амплитуды изменения площади поперечного сечения хвои: у основания – от 0,4764 до 1,1430, на 1/4 – от 0,6597 до 1,7526, на 1/2 – 0,7914 до 1,9784, и на 3/4 – от 0,7593 до 2,0515. Значения среднего периметра хвоинок изменяются в пределах от 4,017 до 6,153 мм, а площади их поверхности – от 196,822 до 368,96 мм<sup>2</sup>.

Амплитуда изменчивости, измеряемая пределами значений показателя, не обеспечивает объективного представления о степени и характере изменчивости. Известно, что при изучении распределений показателей дерева, выраженных в различных единицах измерения или отличающихся средними величинами, наилучшие результаты обеспечивает использование коэффициента вариации  $V$ , % [5]. В этой связи для более объективной оценки изменчивости параметров хвои и характеристики рядов их распределений нами выполнены соответствующие статистические процедуры. Статистический анализ исследуемых параметров хвои (длины, периметра поперечного сечения на разных отметках, среднего значения этого показателя, площади поперечного сечения и площади поверхности хвои) производился с использованием программного пакета Statistica 10. Основные результаты этой работы приведены в табл. 2.

Приступая к анализу данных табл. 2, следует отметить, что точность опыта  $P$ , %, по всем



Таблица 2

Table 2

Основные статистики распределения количества хвоинок по их размерам  
Basic statistics of distribution of number of needles by their size

Размеры Size		Основные статистики Basic statistics			
		$M \pm mM$	$V$	$Sk \pm mSk$	$P, \%$
$l, \text{м}$		$58,48 \pm 0,47$	8,07	$-0,94 \pm 0,24$	0,80
Площадь поперечного сечения $S_i$ на поперечных срезах, $\text{мм}^2$ Cross sectional area $S_i$ on cross sections, $\text{мм}^2$	0	$0,80 \pm 0,014$	17,36	$0,32 \pm 0,24$	1,75
	1/4	$1,13 \pm 0,02$	19,63	$0,34 \pm 0,24$	1,77
	1/2	$1,26 \pm 0,03$	20,81	$0,62 \pm 0,24$	2,38
	3/4	$1,30 \pm 0,03$	21,98	$0,56 \pm 0,24$	2,31
Периметр $P_i$ на поперечных срезах, $\text{мм}$ Perimeter $P_i$ on cross sections, $\text{мм}$	0	$3,70 \pm 0,03$	9,75	$0,61 \pm 0,24$	0,81
	1/4	$4,77 \pm 0,07$	14,14	$-3,09 \pm 0,24$	1,47
	1/2	$5,21 \pm 0,08$	14,72	$-2,96 \pm 0,24$	1,54
	3/4	$5,44 \pm 0,08$	14,47	$-0,79 \pm 0,24$	1,47
Средний периметр $SP, \text{мм}$ The average perimeter $SP, \text{мм}$		$5,20 \pm 0,05$	8,61	$-0,32 \pm 0,24$	0,86
Площадь поверхности $F, \text{мм}^2$ Surface area $F, \text{мм}^2$		$304,68 \pm 4,07$	13,36	$-0,73 \pm 0,24$	1,34

исследуемым параметрам хвои соответствует самым строгим требованиям. Средние значения  $M$  их в высшей степени достоверны. Достоверность всех параметров подтверждается на 5 %-ном уровне значимости ( $t_{\text{факт}} > t_{0,05}$ ). Величины  $t_{0,05}$  установлены по таблице значений  $t$ -Стюдента при соответствующем числе степеней свободы [6].

Средняя длина хвои по всему массиву данных равна 58,48 мм. Коэффициент вариации длины хвои составляет 8,07 %. Сопоставление этого показателя с данными шкалы изменчивости количественных признаков растений С. А. Мамаева позволяет констатировать уровень изменчивости длины хвои как низкий [7]. Низкий уровень изменчивости признака по данным этой шкалы характеризуют коэффици-

енты вариации в пределах от 8 до 12 %.

Наблюдается устойчивое увеличение периметра поперечного сечения хвоинок в направлении от ее базальной части к апикальной (до отметки 3/4*l*). Этот показатель у основания хвоинки в среднем составляет 3,70 мм, а на отметке 3/4*l* – уже 5,44 мм. Средний периметр поперечного сечения хвои, полученный по измерениям на трех срезах, по всему массиву данных составляет 5,20 мм. Изменчивость периметра поперечного сечения хвои несколько выше, чем ее длины. На разных поперечных срезах уровень изменчивости показателя меняется от низкой (8–12 %) до средней (13–20 %). Для среднего значения периметра поперечного сечения хвои значение коэффициента вариации

составляет 8,61 %, что соответствует низкому уровню изменчивости.

Площадь поперечного сечения так же, как и его периметр, закономерно увеличивается в направлении от основания хвои к верхней части. Так, этот показатель у основания хвои составляет 0,80  $\text{мм}^2$ , а на расстоянии 3/4*l* – 1,30  $\text{мм}^2$ . Значения коэффициента вариации площади поперечного сечения хвои на разных срезах изменяются от 17,36 до 21,98 %. По шкале С. А. Мамаева изменчивость данного показателя соответствует среднему (13–20 %) и повышенному (21–30 %) уровням.

Средняя площадь поверхности хвои по всему массиву данных равна 304,68  $\text{мм}^2$ . Коэффициент вариации этого показателя составляет 13,36 %. По шкале С. А. Мамаева изменчивость

площади поверхности хвои соответствует среднему уровню (13–20 %).

Коэффициент вариации находит широкое применение в эколого-физиологических и биологических исследованиях. Известно, что при большой изменчивости признака возможны его различные разновидности, а для нахождения среднего значения требуется большой объем экспериментального материала. В то же время малые значения коэффициента вариации свидетельствуют, что изучаемый показатель является в значительной мере сформировавшимся и достаточно устойчивым, а средние значения его с достаточной точностью могут быть получены на меньшем по объему экспериментальном материале. Результаты наших исследований показывают, что основные параметры хвои (длина и средний периметр поперечного сечения), определяющие площадь ее поверхности, характеризуются низким уровнем изменчивости. Использование их в биологических исследованиях, в нашем случае для определения площади поверхности хвои, обоснованно и позволит получить корректные результаты. Изменчивость производного от этих двух показателей площади поверхности хвои хотя и соответствует среднему уровню, но не многим отличается от данных низкого уровня изменчивости.

Приведенные выше результаты исследований не противоречат данным С. А. Мамаева. По материалам этого исследова-

теля изменчивость морфологических и анатомических признаков хвои у отдельных деревьев сосны обыкновенной чаще всего соответствует низкому уровню. С. А. Мамаев подчеркивает, что морфологические признаки и внутренняя структура хвои имеют высокую степень стабильности.

В исследованиях, связанных с разработкой методик определения тех или иных параметров хвои, несомненный интерес представляет изучение характера распределения количества хвоинок (в репрезентативной навеске) по величине этих параметров.

Общеизвестно, что форма кривых распределения случайной величины наиболее корректно характеризуется двумя коэффициентами: асимметрии и эксцесса. В табл. 2 представлены значения коэффициента асимметрии  $Sk$  для рядов распределения всех исследуемых параметров хвои. Анализируя табличные данные, необходимо отметить следующее. Ряды распределения количества хвоинок по длине, среднему периметру поперечного сечения и площади поверхности характеризуются отрицательной асимметрией – правым смещением кривых распределения по отношению к нормальной. Причем значение коэффициента асимметрии ряда распределения хвоинок по среднему периметру поперечного сечения на 5 %-ном уровне значимости недостаточно.

Ряды распределения хвоинок по площади сечения на всех поперечных срезах имеют положительную асимметрию – левое

смещение кривых распределения по отношению к нормальной. Для двух рядов (по срезам, взятым у основания и на отметке и 1/4) величина коэффициента асимметрии незначительна ( $t_{\text{факт}} < t_{0,05}$ ).

Коэффициенты асимметрии рядов распределения количества хвоинок по периметру поперечного сечения на всех поперечных срезах достоверны на 5 %-ном уровне. При этом по срезу у основания хвоинок ряд распределения характеризуется положительной асимметрией, а ряды по остальным срезам – отрицательной.

Следует отметить, что знаки при коэффициенте асимметрии указывают, на какой стороне (в правой или в левой части ряда) наблюдается перевес значений исследуемого показателя. По результатам наших исследований, ряд распределения количества хвоинок по величине площади поверхности имеет достоверно выраженную отрицательную асимметрию. Этот факт необходимо учитывать в дальнейшем при планировании экспериментов по оценке этого показателя.

Коэффициент эксцесса рядов распределения параметров хвои в наших исследованиях особой роли не играет. Поэтому большой необходимости в анализе этого показателя нет и он в табл. 2 не приведен.

В связи с чрезвычайной трудоемкостью определения площади поверхности хвои как на уровне отдельного дерева, так и на уровне древостоя в специальной литературе встречаются высказывания и имеются попытки найти

для этой цели более простые способы. В частности предлагается нахождение площади поверхности хвои через ее массу [1, 2]. Это предложение, на наш взгляд, заслуживает особого внимания. В настоящее время для разных регионов страны имеются таблицы надземной фитомассы деревьев и древостоев, в которых имеются данные и по массе хвои. Такие таблицы разработаны и для деревьев и древостоев сосны на Среднем Урале [8].

Результаты наших исследований позволяют рассчитать переводной коэффициент для конверсии массы хвои в площадь ее поверхности:

$$k = \frac{F}{M}, \quad (3)$$

где  $k$  – переводной коэффициент, мм<sup>2</sup>/г;

$F$  – площадь поверхности хвои, мм<sup>2</sup>;

$M$  – вес хвои, г.

По нашим данным, этот коэффициент оказался равным 8241,28 мм<sup>2</sup>/г (304,68 / 0,03697 = 8241,28), или 8,241 м<sup>2</sup>/кг.

Безусловно, в данный момент этот коэффициент может быть использован только для нахождения площади поверхности хвои исследуемого дерева. Дальнейшие исследования должны быть направлены на выявление факторов, влияющих на величину данного показателя, и накопление

соответствующих данных с учетом таксационных показателей деревьев и древостоев. Формирование достаточного по объему банка данных  $k$  позволит разработать необходимые уравнения для стыковки данных по площади поверхности хвои с применяемыми в регионе таблицами надземной фитомассы деревьев и древостоев.

### Выводы

Цифровой микроскоп Levenhuk 870T с программным обеспечением LevenhukLite позволяет корректно измерить основные параметры хвои на поперечном срезе, необходимые для определения ее площади поверхности. Установлено, что средние значения ширины и толщины хвоинки не соответствуют ее середине из-за веретенообразной формы.

Наблюдается устойчивое увеличение периметра поперечного сечения хвоинок в направлении от ее базальной части к апикальной. Поэтому для хвоинки следует находить средние значения показателей поперечного сечения (ширины, толщины и периметра). Наиболее обоснованным является нахождение этих параметров среднеарифметическим путем по данным, полученным на 1/4, 1/2 и 3/4 длины хвоинки.

Результаты наших исследований показывают, что основные параметры хвои (длина и средний периметр поперечного сечения), определяющие площадь ее поверхности, характеризуются низким уровнем изменчивости. Использование их в биологических исследованиях, в нашем случае для определения площади поверхности хвои, обоснованно и позволит получить корректные результаты. Изменчивость производного от этих двух показателей площади поверхности хвои хотя и соответствует среднему уровню, но не многим отличается от данных низкого уровня изменчивости.

Ряд распределения количества хвоинок по величине площади поверхности имеет достоверно выраженную отрицательную асимметрию. Этот факт необходимо учитывать в дальнейшем при планировании экспериментов по оценке этого показателя.

Эффективным направлением составления нормативов по оценке площади поверхности хвои является стыковка данных по этому показателю с применяемыми в регионе таблицами надземной фитомассы деревьев и древостоев. Эта задача может быть корректно решена на основе переводных коэффициентов, представляющих собой отношение массы хвои к ее поверхности.

### Библиографический список

1. Уткин, А. И. Площадь поверхности лесных растений. Сущность. Параметры. Использование / А. И. Уткин, Л. С. Ермолова, И. А. Уткина. – Москва : Наука, 2008. – 292 с.
2. Цельникер, Ю. Л. Упрощенный метод определения поверхности хвои сосны и ели / Ю. Л. Цельникер // Лесоведение. – 1982. – № 4. – С. 85–88.



3. Гиль, А. Т. Метод и техническая реализация устройства для измерения площади поверхности листьев (хвой) при измерении фотосинтеза / А. Т. Гиль // Бюллетень ГНБС. – 2017. – Вып. 125. – С. 114–118.
4. Инструкция по эксплуатации Levenhuk 870T (trinocular) biological microscopes / Long Island City. – NY 11101 USA : Levenhuk Ltd, 2006–2013. – 34 с.
5. Митропольский, А. К. Элементы математической статистики : Введение в статистическое исчисление : учебное пособие / А. К. Митропольский. – Ленинград : ЛТА, 1969. – 273 с.
6. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Вышэйшая школа, 1973. – 320 с.
7. Мамаев, С. А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале) / С. А. Мамаев. – Москва : Наука, 1973. – 284 с.
8. Нормативно-справочные материалы по таксации лесов Урала / З. Я. Нагимов, Л. А. Лысов, И. Ф. Коростелев, С. В. Соколов, Б. С. Фимушин, И. В. Шевелина, Г. В. Анчугова. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. – 160 с.

### *Bibliography*

1. Utkin, A. I. Face measure of sylvestral plants. Essence. Parameters. Usage / A. I. Utkin , L. S Ermolaeva, I. A. Utkina. – Moscow, 2008. – 292 p. (In Russ.).
  2. Tsel'niker, Y. L. Simplified method for determining the surface of pine and spruce needles / Y. L. Tsel'niker // Forest science. – 1982. – № 4. – P. 85–88. (In Russ.).
  3. Gil, A. T. Method and technical implementation of a device for measuring the surface area of leaves (needles) when measuring photosynthesis / A. T. Gil // Bulletin of the SNBS. – 2017. – Vol. 125. – P. 114–118 (In Russ.).
  4. Operating instructions Levenhuk 870T (trinocular) biological microscopes / Long Island City. – NY 11101 USA : Levenhuk Ltd. 2006-2013. – 34 p.
  5. Mitropolsky, A. K. Elements of mathematical statistics: Introduction to statistical calculus : A textbook. – Leningrad : LTA, 1969. – 273 p. (In Russ.).
  6. Rokitsky, P. F. Biological statistics / P. F. Rokitsky. – Minsk : Vysheyshaya shkola publishing house. – 1973. – 320 p. (In Russ.).
  7. Mamayev, S. A. Forms of Intraspecific Variation of Woody Plants / S. A. Mamayev. – Moscow, 1972. – 289 p. (In Russ.).
  8. Normative reference materials on the taxation of forests in the Urals / Z. Ya Nagimov, L. A. Lysov, I. F. Korostelev , S. V. Sokolov, B. S. Fimushin, I. V. Shevelina, G. V. Anchugova. – Yekaterinburg : Ural state forest engineering University. – 2002. – 160 p. (In Russ.).
-